

Določitev osnovnega naboja po Millianu

Millianov poskus z opazovanjem gibanja naelektrenih kapljic v gravitacijskem in električnem polju spada med klasične poskuse zaradi zgodovinskega pomena določitve osnovnega naboja.

Na okroglo kapljico z radijem r in gostoto ρ ki prosto pada v zraku, deluje sila teže $mg = \frac{4\pi}{3} r^3 \rho g$, njej nasproti pa sta sila vzgona $\frac{4\pi}{3} r^3 \rho_{zr} g$ in Stokesova sila $6\pi r \eta v$, kjer je ρ_{zr} gostota zraka, η viskoznostni coef. (Zraku pri 23°C $\eta = 18.3 \mu\text{Pa}\cdot\text{s}$), v pa hitrost padanja kapljice. Kapljica doseže konstantno hitrost tedaj, ko velja ravnovesna enačba:

$$\frac{4\pi}{3} r^3 (\rho - \rho_{zr}) g = 6\pi r \eta v$$

Če merimo hitrost padanja kapljice v zraku in poznamo ρ , ρ_{zr} in g , lahko izračunamo r :

$$r^2 = \frac{9\eta v}{2(\rho - \rho_{zr})g}$$

Če je kapljica naelektrena in nosi večkratnik osnovnega naboja ne_0 , deluje nanjo v električnem polju ploščatega kondenzatorja z el. poljsko jakostjo E , dodatna sila $ne_0 E$. S spreminjanjem velikosti in smeri el. polja lahko dosežemo ravnovesje med navidezno težo kapljice in el. silo. Takrat miruje in velja:

$$\frac{4\pi}{3} r^3 (\rho - \rho_{zr}) g = ne_0 E$$

Kjer je $U = Ed$ napetost na kond., d pa razmik med ploščama kond. Če merimo hitrost kapljice pri prostem padanju skozi Zrak... in pa napetost, pr kateri se kapljica ustavi, lahko določimo mnogokratnik ne_0 .

K temu lahko pristopimo tudi drugače. Dovolj majhno kapljico premikamo z neko napetostjo $U = Ed$ v smeri (+) in nasproti (-) tekočnega pospeška. Ko se hitrost ustavi velja ravnovesje:

$$\frac{4\pi}{3} r^3 (\rho - \rho_{\text{zr}}) g \pm |n| e_0 E = \pm 6\pi r \eta v_{\pm}$$

kar je v_{+} (v_{-}) hitrost premikanja v smeri (v nasprotni smeri) tekočnega pospeška. Hitrosti v_{+} in v_{-} sta pozitivni količini, ki ju lahko izmerimo. Na podlagi njiju določimo radij:

$$r^2 = \frac{q \eta (v_{+} - v_{-})}{4g(\rho - \rho_{\text{zr}})}$$

in abs. vrednost večkratnika naboja $|n|$:

$$|n| e_0 = \frac{3\pi r \eta}{E} (v_{+} + v_{-})$$

Naloga:

- Izmeri hitrost gibanja kapljice v gravitacijskem in el. polju
- Iz meritev izračuna velikost kapljice in njhov naboj ter določi e_0 .

Potrebšline:

- Milikanov aparat: kondenzator z razmikom $d = 5(1 \pm 0.02) \text{ mm}$, razpisilec z dje m ($\rho = 0.473 \text{ g cm}^{-3}$), LED za osvetljevanje
- mikroskop s kamero priljubeno na računalnik
- Osmernik za 300V
- preklonnik smeri napetosti
- Voltmeter

Navodila

Opravimo začetno nastavitve tako da uporabimo program Milikan, ki se poveže s kamero. Oljne kapljice s stiskom balona razpršimo. Vbrizgamo v Milikanov kondenzator. Na kapljicah se sije svetloba LED. Na monitorju vidimo več padajočih kapljic, ki so različne po velikosti in hitrosti padanja. Vse tudi niso ostre zaradi omejene globinske ostre mikroskopa.

Nabite kapljice lahko drigamo ali spuščamo s spreminjanjem napetosti na kondenzatorju. To naredimo z napetostjo 300V zvezano s kondenzatorjem preko preklopnika. Vzporedno s kondenzatorjem vezemo tudi voltmeter.

S programom začnemo snemanje padajočih kapljic. Video analiziramo s programom TWRICW. Izberemo kapljico na frameu. Premikamo se po frameih naprej, ko se kapljica znatno premakne, zopet glikamo nazaj. Program iz različne časov in vmejanja št. pikl izračuna premik in hitrost v mikrometrih:

$$d_1 = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad v = \frac{d_1}{t_2 - t_1}$$

Meritve

Meritve sem prigel kot .txt datoteka

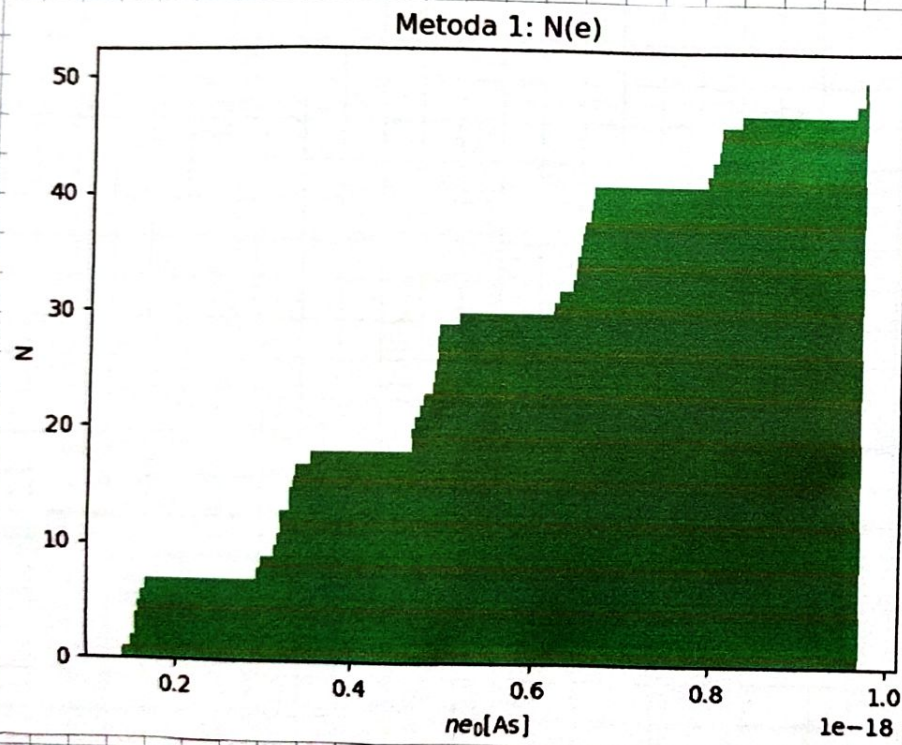
Metoda 1						
v [$\mu\text{m/s}$]	U [V]	r [μm]	ne ₀ [As]	n	e ₀ [As]	Δe_0
30,4	194	0,512445	1,38497E-19	1	1,38497E-19	-2,2194E-20
27,1	153	0,483833	1,47807E-19	1	1,47807E-19	-1,28842E-20
24,6	127	0,460976	1,54004E-19	1	1,54004E-19	-6,68744E-21
22,8	113	0,443791	1,54439E-19	1	1,54439E-19	-6,25247E-21
8,75	26,3	0,274925	1,57757E-19	1	1,57757E-19	-2,93416E-21
29,9	163	0,508214	1,60787E-19	1	1,60787E-19	9,60463E-23
41,3	255	0,597291	1,66847E-19	1	1,66847E-19	6,15539E-21
51,5	201	0,666983	2,94746E-19	2	1,47373E-19	-1,33185E-20
56,3	227	0,697373	2,98311E-19	2	1,49156E-19	-1,15358E-20
27,7	74,8	0,48916	3,12429E-19	2	1,56214E-19	-4,47702E-21
34,2	101	0,54353	3,17432E-19	2	1,58716E-19	-1,97539E-21
50,3	179	0,659166	3,19471E-19	2	1,59736E-19	-9,55729E-22
46	156	0,630362	3,20586E-19	2	1,60293E-19	-3,98195E-22
47,2	157	0,638531	3,3109E-19	2	1,65545E-19	4,85369E-21
25,2	61,1	0,466564	3,31889E-19	2	1,65944E-19	5,25299E-21
47,7	158	0,641904	3,34236E-19	2	1,67118E-19	6,42668E-21
11,3	18,1	0,312428	3,36413E-19	2	1,68206E-19	7,51482E-21
62,7	225	0,735944	3,53714E-19	2	1,76857E-19	1,61654E-20
69,9	201	0,777051	4,66072E-19	3	1,55357E-19	-5,33419E-21
27,3	49	0,485615	4,66639E-19	3	1,55546E-19	-5,14513E-21
27,6	49,4	0,488276	4,70511E-19	3	1,56837E-19	-3,85445E-21
40,7	87,5	0,592936	4,75682E-19	3	1,58561E-19	-2,13081E-21
20,4	30,8	0,419784	4,79543E-19	3	1,59848E-19	-8,43756E-22
33,3	63,2	0,536331	4,87396E-19	3	1,62465E-19	1,77404E-21
45,4	100	0,626237	4,90362E-19	3	1,63454E-19	2,76257E-21
40	82,3	0,587815	4,92746E-19	3	1,64249E-19	3,55727E-21
31,3	56,9	0,519976	4,9333E-19	3	1,64443E-19	3,75181E-21
69,5	188	0,774824	4,94029E-19	3	1,64676E-19	3,98489E-21
46	101	0,630362	4,95163E-19	3	1,65054E-19	4,36299E-21
42,2	84,8	0,603764	5,1821E-19	3	1,72737E-19	1,20453E-20
58,1	114	0,708433	6,22719E-19	4	1,5568E-19	-5,01158E-21
79,2	180	0,827129	6,27695E-19	4	1,56924E-19	-3,76781E-21
56,9	107	0,701079	6,4301E-19	4	1,60752E-19	6,10461E-23
28,4	37,5	0,495302	6,46963E-19	4	1,61741E-19	1,04926E-21
43,3	70,4	0,611582	6,48772E-19	4	1,62193E-19	1,50162E-21
82,2	183	0,842649	6,52814E-19	4	1,63204E-19	2,51215E-21
52,7	93,8	0,674708	6,53802E-19	4	1,6345E-19	2,75903E-21
62,9	122	0,737117	6,55465E-19	4	1,63866E-19	3,1747E-21
58	107	0,707823	6,61746E-19	4	1,65436E-19	4,74504E-21

55,5	100	0,6924	6,62785E-19	4	1,65696E-19	5,00476E-21
70	141	0,777606	6,65826E-19	4	1,66457E-19	5,76516E-21
73,3	127	0,795725	7,9211E-19	5	1,58422E-19	-2,26951E-21
92,3	178	0,892918	7,98575E-19	5	1,59715E-19	-9,76474E-22
73	124	0,794095	8,06298E-19	5	1,6126E-19	5,68193E-22
116	248	1,001013	8,07548E-19	5	1,6151E-19	8,18169E-22
12,9	9,19	0,333815	8,08169E-19	5	1,61634E-19	9,42336E-22
99,9	193	0,928953	8,29324E-19	5	1,65865E-19	5,17327E-21
37	37,7	0,565343	9,56961E-19	6	1,59494E-19	-1,19792E-21
46,6	52,8	0,634459	9,6578E-19	6	1,60963E-19	2,71824E-22
26,4	22,4	0,477543	9,70713E-19	6	1,61786E-19	1,09409E-21
Value:					1,607E-19	1E-21

Po formulah iz uvoda za r

in n_{e0}

$$e_0 = (1,61 \cdot 10^{-19} \pm 10^{-21}) \text{ As}$$



Additional Data	
d [m]	0,005
ρ_{zr} [kg/m ³]	1,209
ρ [kg/m ³]	973
η [μ Pas]	18,3
g [m/s ²]	9,81
U [V]	200

Upoštevamo
rel. vlažnost
34%
in $T = 23,6^\circ\text{C}$

n določen iz
grafa

Metoda 2

v_+ [$\mu\text{m/s}$]	v_- [$\mu\text{m/s}$]	r [μm]	$ n e_0$ [As]	n	e_0 [As]	Δe_0 [As]
72,006	56,797	0,256299	1,423E-19	1	1,42342E-19	-1,96723E-20
63,723	23	0,419388	1,568E-19	1	1,56824E-19	-5,19084E-21
67,505	4,608	0,521208	1,621E-19	1	1,62064E-19	4,92784E-23
65,67	26,37	0,411995	1,635E-19	1	1,63505E-19	1,49023E-21
70,459	0,868	0,548242	1,686E-19	1	1,68612E-19	6,5973E-21
72,804	1,237	0,555971	1,775E-19	1	1,77495E-19	1,54805E-20
108,676	73,501	0,389774	3,062E-19	2	1,53087E-19	-8,92761E-21
99,617	37,417	0,518312	3,063E-19	2	1,53127E-19	-8,8878E-21
99,592	32,436	0,538565	3,066E-19	2	1,53298E-19	-8,71672E-21
112,306	76,745	0,391907	3,195E-19	2	1,59733E-19	-2,28196E-21
103,38	39,235	0,526353	3,237E-19	2	1,61836E-19	-1,78906E-22
103,66	30,163	0,563418	3,251E-19	2	1,62553E-19	5,37757E-22
106,126	18,048	0,616779	3,302E-19	2	1,65117E-19	3,10252E-21
104,844	34,087	0,552816	3,312E-19	2	1,65582E-19	3,56681E-21
105,991	31,74	0,566301	3,363E-19	2	1,68155E-19	6,1407E-21
110,666	9,797	0,660047	3,428E-19	2	1,7142E-19	9,40491E-21
118,131	81,165	0,399574	3,434E-19	2	1,71683E-19	9,6685E-21
109,122	48,364	0,512268	3,479E-19	2	1,73929E-19	1,19142E-20
109,125	35,103	0,565427	3,516E-19	2	1,75816E-19	1,38011E-20
131,182	60,401	0,55291	4,567E-19	3	1,52248E-19	-9,76655E-21
135,091	71,015	0,52607	4,675E-19	3	1,55839E-19	-6,1761E-21
136,727	13,995	0,728073	4,732E-19	3	1,57722E-19	-4,2927E-21
134,287	61,302	0,561452	4,735E-19	3	1,57833E-19	-4,18165E-21
135,869	65,291	0,552116	4,789E-19	3	1,59629E-19	-2,38525E-21
135,117	57,138	0,580343	4,811E-19	3	1,60363E-19	-1,65206E-21
143,371	2,564	0,779844	4,907E-19	3	1,63572E-19	1,55705E-21
136,318	47,317	0,620002	4,909E-19	3	1,6364E-19	1,62535E-21
140,614	24,686	0,707604	5,043E-19	3	1,68114E-19	6,09925E-21
199,634	161,823	0,404115	6,298E-19	4	1,57458E-19	-4,55708E-21
163,455	60,308	0,667458	6,44E-19	4	1,60996E-19	-1,0189E-21
175,085	0,93	0,867289	6,582E-19	4	1,64557E-19	2,54202E-21
194,452	148,005	0,447893	6,614E-19	4	1,65342E-19	3,32718E-21
169,023	28,198	0,779894	6,632E-19	4	1,65803E-19	3,78778E-21
186,882	44,802	0,783362	7,826E-19	5	1,56513E-19	-5,50168E-21
187,653	68,058	0,718708	7,924E-19	5	1,58487E-19	-3,52761E-21
192,585	21,888	0,858635	7,94E-19	5	1,58808E-19	-3,20628E-21
190,043	78,138	0,695217	8,039E-19	5	1,60783E-19	-1,23148E-21

191,74	37,267	0,816812	8,066E-19	5	1,61311E-19	-7,04062E-22	
205,337	135,567	0,548947	8,069E-19	5	1,61382E-19	-6,3295E-22	
198,367	9,312	0,903629	8,092E-19	5	1,61836E-19	-1,78888E-22	
193,182	92,298	0,660096	8,125E-19	5	1,62508E-19	4,9332E-22	
190,798	64,048	0,739895	8,13E-19	5	1,62607E-19	5,92499E-22	
208,141	139,285	0,545339	8,169E-19	5	1,63388E-19	1,37368E-21	
199,655	10,64	0,903533	8,193E-19	5	1,63857E-19	1,84232E-21	
196,011	100,804	0,641254	8,207E-19	5	1,64138E-19	2,12296E-21	
201,446	5,563	0,919802	8,21E-19	5	1,64201E-19	2,18621E-21	
222,452	134,401	0,616684	9,489E-19	6	1,58148E-19	-3,86688E-21	
222,531	12,136	0,953265	9,646E-19	6	1,60759E-19	-1,25527E-21	
214,169	66,929	0,79746	9,666E-19	6	1,61093E-19	-9,21438E-22	
234,218	158,147	0,573199	9,697E-19	6	1,61624E-19	-3,90444E-22	
					Value	1,6201E-19	1E-21

Po formulah iz uvodu za

r in $\ln I_{e0}$

n določen iz grafa

$$e_0 = (1,62 \cdot 10^{-19} \pm 10^{-21}) \text{ As}$$

